فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۸

فریبا همتی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز
شهرام بهرامی، استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری
محمدعلی زنگنه اسدی، استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری

F. Hemati
S. Bahrami, Ph.D
M.A. Zangeneh Asadi

E-mail: f.hematti@gmail.com

شماره مقاله: ۱۰۴۲ صص: ۲۲۲-۲۰۷
وصول:۹۳/۵/۲۸ پذیرش: ۹۴/۲/۲۲

شواهد ژئومورفولوژیک زمین ساخت فعال در طاقدیس پیکلا

چکیده

منطقه مورد مطالعه، طاقدیس پیکلا، در جنوب‌غرب استان کرمانشاه واقع شده است. هدف این پژوهش بررسی شواهد ژئومورفولوژیک زمین ساخت فعال طاقدیس پیکلا و همچنین، ارزیابی تاثیر زمین ساخت در نوع و جهت اشکال ژئوموفولوژی منطقه مورد مطالعه است. برای دستیابی به هدف فوق، با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه، وضعیت ساختمانی و سنگ شناسی منطقه تعیین شد. لندفرم‌های ژئوموفولوژیک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کویک برد و همچنین، مطالعات میدانی مشخص گردید. در این پژوهش، شاخص‌های مربوط به زمین ساخت فعال مانند سینوزیته جبهه کوهستان، سطوح مثلثی شکل، فاصله‌بندی شبکه زهکشی، تراکم زهکشی، دره‌های ساغری شکل، انتگرال هیپسومتریک و مئاندر رودخانه ارزیابی شد. جبهه کوهستانی تقریباً مستقیم، سطوح مثلثی با قاعده طولانی و شیب زیاد، تراکم زهکشی پایین، الگوی زهکشی موازی، دره‌های ساغری شکل و مقدار بالای انتگرال هیپسومتریک در دامنه شمال‌شرق نشان می‌دهد این بخش طاقدیس از نظر زمین ساختی فعالتر از دامنه جنوب‌غربی طاقدیس است.

واژه‌های کلیدی: پیکلا، زمین ساخت، درهٔ ساغری شکل، انتگرال هیپسومتری.

مقدمه

منطقه مورد مطالعه طاقدیس پیکلا در استان کرمانشاه است که از نظر ساختمانی بخشی از زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود. بالاآمدگی زمین ساخت؛ به‌ویژه در طاقدیس‌ها، اغلب باعث ایجاد لندفرم‌های خاصی در سطح زمین می‌شوند. مطالعات مختلف نشان‌دهنده وجود زمین ساخت فعال، بالا آمدگی و کوتاه‌شدگی طاقدیس‌ها و وجود زلزله‌های متعدد در زاگرس چین خورده است (بربریان،۱۹۹۵: ۱۹۹: بلانک[1]و همکاران،۲۰۰۳: ۴۰۵: حسامی و همکاران،۲۰۰۶: ۱۴۳: رامسی[2]و همکاران،۲۰۰۸: ۲۳: بهرامی، ۲۰۱۲: ۴۶).

شناسایی اشکال ژئومورفولوژیک مربوط به زمین ساخت‌های فعال نقش مهمی در تبیین رفتارهای زمین ساختی و تغییرات مکانی آنها ایفا می‌کند. از جمله شاخص‌های ژئومورفولوژیک بالاآمدگی طاقدیس‌ها می‌توان به سطوح مثلثی

1-Blance
2-Ramsy

شکل، دره‌های ساغری شکل، فاصله‌بندی آبراهه‌ها، الگوی زهکشی، تراکم زهکشی، انتگرال هیپسومتریک و مئاندرهای رودخانه‌ای اشاره کرد.

رشته کوه زاگرس بزرگترین واحد ساختمانی ایران است که با روند شمال‌غربی- جنوب شرقی کشیده شده است. در بخش شمال غربی؛ یعنی محدوده استان ایلام و کرمانشاه امواج چین‌خوردگی در زاگرس، بیشتر به صورت ساخت‌های طاقدیسی و ناودیسی مرکب تظاهر پیدا کرده است. از این‌رو، دشت‌های نسبتاً وسیع وکوه‌های پرحجم از خصوصیات بارز این بخش از زاگرس بوده که در آن اغلب دشت‌ها منطبق بر ناودیس‌ها و برجستگی‌های آن حاصل طاقدیس‌ها است(علایی طالقانی، ۱۳۸۴ :۱۵۳). شناخت و بررسی ویژگی‌های زمین ساختی که در طی کوهزایی میوپلیوسن و پاسادنین عمل نموده و اشکال ژئومورفولوژی خاصی را به‌وجود آورده است، از دیدگاه کاربردی با بسیاری از فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه کشاورزی و باغداری در منطقه ارتباط پیدا می‌کند. همچنین، شناخت و تبیین نقش فرایندهای زمین ساختی فعال گذشته و جدید و مقدار آنها در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه می تواند نقش مهمی در مکان گزینی و مدیریت بهتر طرحها و پروژه‌های محیطی ایفا کند.

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه ژئومورفولوژی زمین ساخت صورت گرفته است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ولز[1]و همکاران(۱۹۸۸ :۲۵۱) شاخص‌هایی مانند سطوح مثلثی شکل، شاخص تسطیح‌شدگی جبهه کوهستان[2]، سینوسیته جبهه کوهستان[3] و تقعر نیمرخ رودخانه[4]را در سواحل کاستاریکا بررسی کردند. جکسون و همکاران(۱۹۹۸ :۳۸۱) اثرات کج‌شدگی چین‌ها و نقش گسل‌ها در الگوی زهکشی و انحراف مسیر شبکه آبها در ناحیه ماناواتو[5] در نیوزلند را ارزیابی کردند. تالینگ[6]و سوتر[7](۱۹۹۹ : ۸۱۶) نقش زمین ساخت و بالا آمدگی طاقدیس ویلرریج[8]در کالیفرنیا را در تراکم زهکشی بررسی کردند. مطالعه آنها نشان داد که تراکم زهکشی در پهلوهای پر شیب کمتر است. زوچیویکز و مک کالپین (۲۰۰۰، ص ۲۳۷) اندازه، شیب و قدمت سطوح مثلثی شکل را در ارتباط با یک گسل عادی در یوتای آمریکا به طور دقیق ارزیابی کردند. مطالعه آنها نشان داد که ویژگی‌های هندسی سطوح مثلثی شکل کاملاً تحت تاثیر زمین ساخت منطقه است.

آزور[9]و همکاران(۲۰۰۲، ص ۷۴۹) با مطالعه طاقدیس اوک ریج[10]در جنوب کالیفرنیا، تفاوت میزان بالاآمدگی طاقدیس و فعالیت زمین ساختی آن را بر اساس فراسنج های تراکم زهکشی، شیب لایه‌ها، انتگرال هیپسومتری زیرحوضه‌ها، شاخص شیب رودخانه و سینوزیته جبهه کوهستان محاسبه کردند. سونگ[11]و چن[12] (۲۰۰۴: ۳۹۳) نقش

1- Wells
2- Mountain-front faceting
3- mountain-front sinuosity
4- stream profile concavity
5- Manawatu
6- Talling
7- Sowter
8- Wheeler Ridge
9- Azor
10- Oak Ridge
11- Sung
12- Chen

گسل‌خوردگی و ساختمان طاقدیس پاکوشان در مرکز تایوان را در جهت‌گیری و الگوی شبکه زهکشی بررسی کردند. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که وجود دره‌های ساغری شکل؛ اولاً بیانگر وجود حرکات زمین ساختی فعال درجبهه‌های کوهستانی است؛ ثانیاً تحت تاثیر درجه فعالیت‌های زمین ساخت، شکل و ابعاد آنها تغییر می‌کند(آرمیجو[1] و همکاران، ۱۹۹۱: ۱۳۸ ؛ پیکاردی[2] و همکاران،۱۹۹۹ : ۵۰۷: آثاناسیوس[3] و همکاران، ۲۰۰۵ : ۳۱۹).

پتیت و همکاران(۲۰۰۹ : ۴۲۲- ۴۰۲) نقش فراسنج های آب و هوایی و زمین ساخت در تکامل سطوح مثلثی روی گسل‌های عادی را بر اساس یک مدل کمی در گسل وسیچ در یوتا بررسی کردند. بررسی آنها نشان داد که میزان شیب و ارتفاع سطوح مثلثی تابعی از جابه‌جایی گسل است. اوسموندسن و همکاران(۲۰۱۰،ص۸۶) در بررسی توپوگرافی آلپ‌های نروژ نشان دادند که وجود سطوح مثلثی در پرتگاه‌های جبهه کوهستان نشان‌دهنده دوره‌های مختلف حرکت گسل‌ها است. فقهی در سال ۱۳۷۶ در پژوهش خویش خود به تحلیل ساختاری چین خوردگی‌ها در منطقه سنگان زاگرس پرداخت. نتیجه کلی این بررسی این است که یک سیستم دگر شکلی پیش‌رونده در منطقه حاکم است که باعث تغییر شکل مداوم ساختارهایی که در ابتدای تاریخ دگر شکلی منطقه به وجود آمده‌اند، می‌گردد. بررسی مورفوزمین ساخت و نئوزمین ساخت نیز نشان‌دهنده فعالیت زمین ساخت و افزایش آن با نزدیک شدن به گسل اصلی و شاهدی بر تداوم دگر شکلی در منطقه است. نواب پور(۱۳۷۶) به مطالعه طاقدیس بادامستان زاگرس پرداخت. او روابط بین پدیده‌های فرسایش ساختاری واحدهای سنگی در امتداد دره لردگان با عنوان «مطالعات زمین ساختی» را بررسی کرد. غلامی نیا (۱۳۸۶-۱۳۸۵) در پژوهش خویش با عنوان« ژئومورفولوژی طاقدیس گچ (جنوب شهرلار) » به بررسی طاقدیس گچ و نقش آن در تأمین منابع آب دشت لار در زاگرس فارس می‌پردازد. به نظر او به‌علت قرارگیری طاقدیس گچ در کمربند زاگرس چین خورده، همچنین، به‌دلیل متأثر شدن از جنبش‌های زمین ساخت ناشی از گسل‌های پی سنگی و زلزله‌های مخربی که درمنطقه وجود دارد، منطقه از لحاظ زمین ساختی از فعالیت بالایی برخوردار است که اشکال ژئومورفولوژی کنونی از شواهد زمین ساخت است. برای اثبات زمین ساخت فعال از شاخص‌های مورفومتری پیچ وخم کوهستان و نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، همچنین، نمودار گل سرخی مربوط به روند آبراهه‌ها و گسل‌ها مورد توجه قرار دادن مخروطه افکنه‌ها استفاده شده است که نتایج حاصل از این روش مشخص می‌کند که کج‌شدگی محور طاقدیس، لرزه‌خیزی زیاد منطقه و گسل‌های سطحی، تحت تأثیر گسل‌های پی‌سنگی که از این طاقدیس می-گذرند شکل گرفته اند. مطالعات بهرامی (۲۰۱۲: ۱۵۹)، روی سطوح مثلثی و دره‌های ساغری نواکوه نشان داد که طول قاعده و شیب سطوح مثلثی و همچنین، نسبت حداکثر عرض دره‌های ساغری به خروجی دره‌ها (W) کاملاً تحت تاثیر زمین ساخت قرار دارند. هدف این پژوهش شناسایی لندفرم‌های ژئومورفولوژیک و ارتباط آنها با زمین ساخت در بخش‌های مختف طاقدیس پیکلاست.

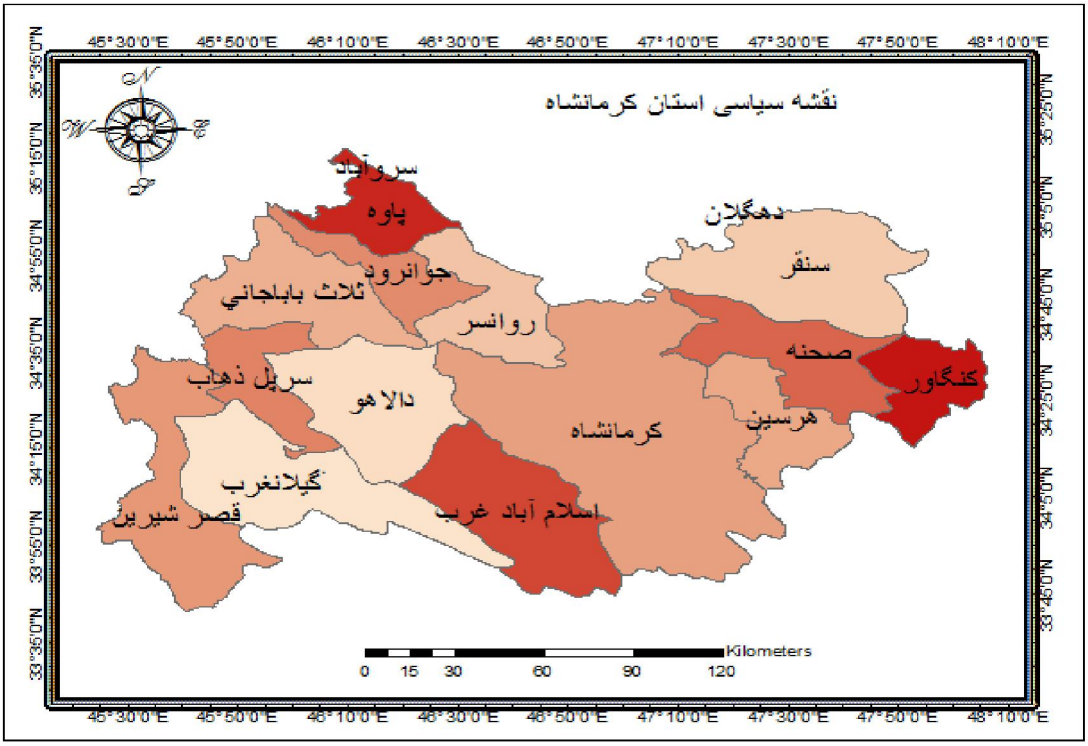
1- Armij
2- Piccardi
3- Athanassios

داده‌ها و روش پژوهش

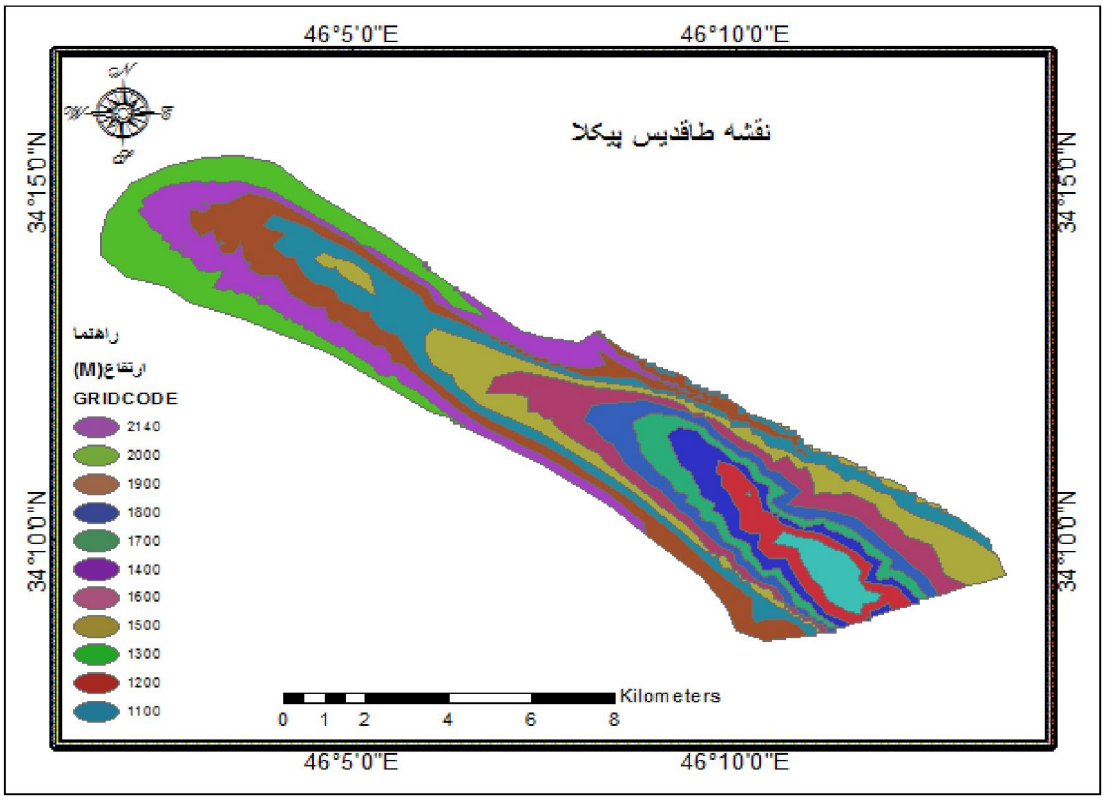
به‌منظور ارزیابی نقش زمین ساخت در ایجاد لندفرم‌های ژئومورفولوِیک، ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ موقعیت منطقه مورد مطالعه مشخص شد. در این پژوهش، از مقادیر کمی به‌دست‌آمده از شاخص‌های ژئومورفیک (سینوزیته جبهه کوهستان، سطوح مثلثی شکل، فاصله‌بندی شبکه زهکشی، تراکم زهکشی، دره‌های ساغری شکل، انتگرال هیپسومتریک و مئاندر رودخانه) و بررسی میدانی، لندفرم های ژئومورفولوژیک متأثر از زمین ساخت جدید، استفاده شده است. بر اساس تصویر ماهواره‌ای کویک برد، سطوح مثلثی و دره‌های ساغری منطقه تعیین شد(شکل ۱). در مواردی که محدوده سطوح مثلثی در تصاویر ماهواره‌ای کاملاً مشخص نبود، مطالعات میدانی برای تعیین محدوده سطوح مثلثی انجام شد. محدوده سطوح مثلثی و دره‌های ساغری شکل به صورت فایل‌های اطلاعاتی جداگانه‌ای در نرم‌افزار الویس رقومی شدند. سپس از نقشه خطوط مثلثی شکل، نقشه پلی‌گونی سطوح مثلثی تهیه شد. طول قاعده سطوح مثلثی شکل و مساحت آنها در نرم‌افزار الویس محاسبه شد و میانگین آنها در دامنه‌های شمال‌شرقی و جنوب غربی به‌دست آمد. برای تعیین شیب توپوگرافی هر سطح مثلثی، ابتدا نقشه شیب منطقه بر اساس نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تهیه شد. با استفاده از کراس دادن نقشه شیب با نقشه پلی‌گونی سطوح مثلثی شکل، شیب متوسط سطح مثلثی استخراج و میانگین شیب سطوح مثلثی در دامنه‌های شمال شرق و جنوب غرب محاسبه شد. برای بررسی دقیق لندفرم‌ها و فرایندهای ژئومورفولوژیک طی چندین مطالعه میدانی، از عوارض و ناهمواری‌های منطقه مورد مطالعه عکس و اسلاید تهیه شد. دره‌های v شکل با دامنه‌های پرشیب، دولین‌های کشیده که نشان‌دهنده فعالیت زمین ساخت هستند، درز و شکاف در تمام منطقه، تراس‌های رودخانه‌ای، پرتگاه گسلی، سطوح مثلثی و ... همگی از جمله اشکالی هستند که در نتیجه فعالیت زمین ساخت در منطقه به‌وجود آمده‌اند.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه طاقدیس پیکلا نام دارد که حدّ فاصل بین شهرستان‌های گیلانغرب و دالاهو، در جنوب‌غربی استان کرمانشاه بین۳۴ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۰۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس چین‌خورده قرار دارد و ویژگی توپوگرافی زاگرس به نحو بارزی در منطقه انعکاس یافته و آن را به صورت یک طاقدیس با روند شمالغربی – جنوبشرقی در آورده است. شکل طاقدیس مورد مطالعه تابع ساختمان زمین‌شناسی زاگرس چین خورده است. سطوح ارتفاعی اغلب همان ساختمان طاقدیس‌ها و دشت‌ها مطابق برساختمان ناودیس‌ها هستند. طاقدیس پیکلا، از نظر توپوگرافی شامل واحد کوهستان است که دو دشت سگان در شمال‌شرق و دشت گواور در جنوب‌غرب آن قرار گرفته‌اند. امتداد طاقدیس پیکلا، همانند روند کلی طاقدیس‌های زاگرس، شمال‌غرب – جنوب شرق است. منطقه مورد مطالعه دارای تفاوت‌های زیادی از نظر شیب توپوگرافی است. دامنه غربی آن دارای شیب کمتری است و دامنه‌های شمال‌شرقی طاقدیس به تبع وجود لایه‌های پرشیب‌تر، دارای شیب بیشتری هستند. بلندترین ارتفاع در منطقه مورد مطالعه ۲۱۴۰ متر است که یکی از ارتفاعات هسته مرکزی کوه پیکلا بوده و به‌تدریج از سمت جنوب‌شرق به شمال‌غرب از ارتفاع منطقه کاسته می‌شود. شکل (۱) موقعیت سیاسی استان کرمانشاه و شکل (۲) سطوح ارتفاعی طاقدیس پیکلا را به نمایش می‌گذارد.



شکل ۱) نقشه موقعیت سیاسی استان کرمانشاه

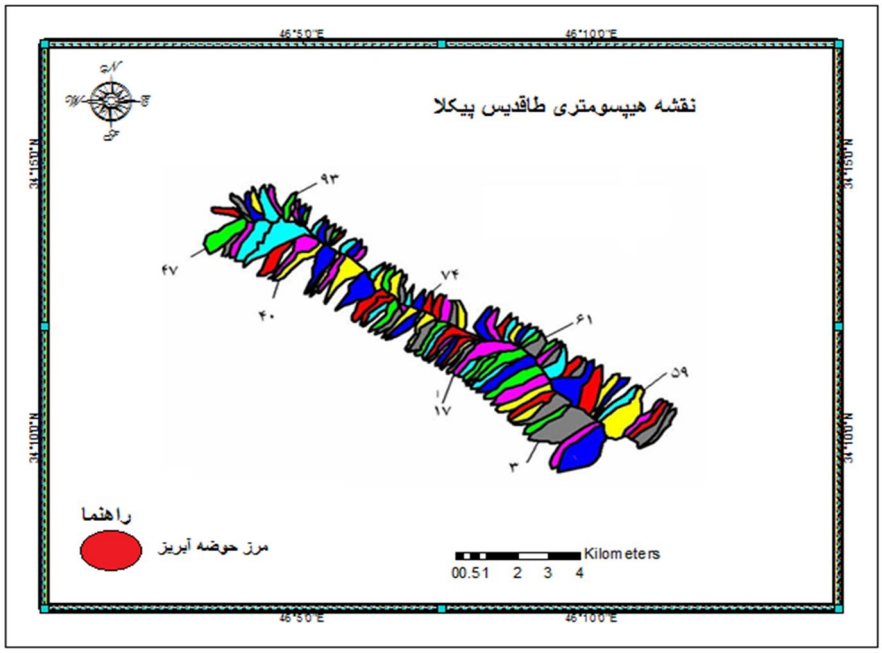


شکل ۲) نقشه سطوح ارتفاعی طاقدیس پیکلا

نتایج شاخص‌های مورفومتریک

منحنی هیپسومتریک و انتگرال هیپسومتریک

منحنی هیپسومتری، توزیع سطوح ارتفاعی یک منطقه از زمین یا یک حوضه آبخیز را نشان می‌دهد. منحنی هیپسومتریک حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم می شود. یکی از ساده‌ترین راه‌ها برای توصیف شکل منحنی هیپسومتریک یک حوضه زهکشی، محاسبه انتگرال هیپسومتریک آن حوضه است. انتگرال هیپسومتریک حوضه به وسیله مساحت زیر منحنی هیپسومتریک مشخص می‌شود. مقادیر بالای انتگرال هیپسومتریک (بالاتر از ۵۰٪) بر وجود پستی و بلندی و توپوگرافی بالا نسبت به میانگین حوضه زهکشی و مقادیر حد واسط تا کم انتگرال هیپسومتریک، بر برش شبکه زهکشی در یک سطح هموارتر دلالت دارد. در حوضه مورد مطالعه ۱۰۷ منحنی هیپسومتریک برای دو دامنه شمال‌شرق و جنوب‌غرب رسم شد و مساحت بین آن‌ها در نرم‌افزار الویس محاسبه شد. براساس ترسیم مساحت تجمعی در محورX و ارتفاع نسبی در محور Y، منحنی هیپسومتری حوضه ترسیم و مساحت زیر منحنی به‌دست آمد که نتایج آن در شکل (۳) و جدول (۱) نشان داده شده است (سلیمانی،۶۵:۱۳۷۸).



شکل ۳) نقشه هیپسومتری طاقدیس پیکلا

جدول ۱) جدول منحنی هیپسومتریک میانگین سطح زیر منحنی در دامنه‌های جنوب‌غرب و شمال‌شرق

دامنه	انتگرال هیپسومتری
شمال‌شرق	۴۵/۵۷
جنوب‌غرب	۱۹/۵۶
کل	۸۱/۵۶

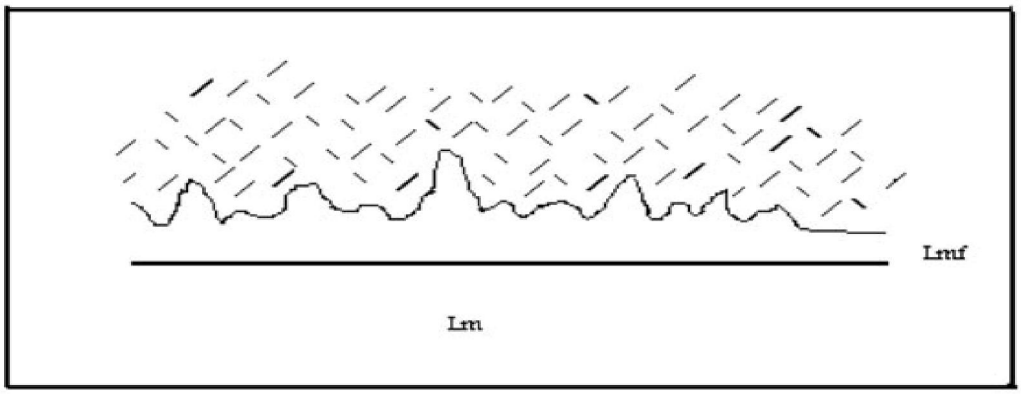
به طورکلی، نتایج داده‌های انتگرال هیپسومتریک نشان می‌دهد که حوضه‌های منطقه مورد مطالعه از نظر سیکل فرسایشی در مرحله جوان قرار دارند؛ با وجود این، حوضه‌های دامنه شمالی‌شرقی طاقدیس جوان‌تر هستند.

شاخص سینوسی جبهه کوهستان

شاخص سینوسیته جبهه کوهستان، شاخصی است که بیانگر تعادل بین نیروهای فرسایش‌دهنده و نیروهای زمین ساخت است. مناطق فعال از نظر زمین ساختی دارای جبهه‌های مستقیمی هستند؛ بنابراین، مقدار شاخص سینوسیته جبهه کوهستان(اس.ام.اف) در آنها عدد کمی را نشان می‌دهد. شاخص سینوسیته جبهه کوهستان از رابطه زیر به‌دست می‌آید(سلیمانی،۵۵:۱۳۷۸):

Ls ،Smf=Lmf (۱

در رابطه فوق، اس.ام.اف، شاخص سینوسیته جبهه کوهستان، ال.ام.اف، طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه و در محل شکست مشخص شیب (کنیک) و ال.اس، طول خط مستقیم جبهه کوهستان را نشان می‌دهد (شکل۴).



شکل ۴) طول جبهه کوهستان (ال.ام.اف) طول خط مستقیم جبهه کوهستان(ال.اس)

اگرمقدار اس.ام.اف کمتر باشد، نشانه فعالیت شدید و هرچه مقدار آن بیشتر باشد، نشانه آرامش منطقه از نظر زمین ساختی خواهد بود. به منظور تکمیل ارزیابی وضعیت زمین ساختی منطقه، پیچ و خم جبهه کوهستان در دو دامنه شمال-شرق و جنوب‌غرب طاقدیس پیکلا ارزیابی شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲) فراسنج های مربوط به شاخص سینوسیته جبهه کوهستانی در منطقه مورد مطالعه

نام حوضه	ال.ام.اف (km)	ال.اس (km)	شاخص اس.ام.اف
دامنه شمال‌شرق	۲۳/۲۸	۲۰/۸	۱/۱۲
دامنه جنوب‌غرب	۲۵/۲۱	۲۱/۸۳	۱/۱۵

همان‌طورکه در جدول مشاهده می‌شود، این شاخص از ۱/۱ تا ۱/۱۵ متغیر است. این شاخص برای دامنه شمال‌شرق بیشتر از دامنه جنوب‌غرب است. نتایج حاصله بیانگر این مطلب است که در دامنه شمال شرق بالاآمدگی بیشتر است و از نظر زمین ساخت فعال‌تر است و فعالیت زمین ساختی در دامنه جنوب‌غرب نسبت به دامنه شمال‌شرق منطقه فرصت بیشتری را در اختیار شبکه آبراهه‌ها قرار داده و این فرسایش آبراهه‌ها توانسته‌است بر تضاریس جبهه کوهستان بیفزاید.

تراکم زهکشی

تراکم زهکشی مجموع طول آبراهه‌ها در مساحت معین است که تعادل بین نیروهای فرسایشی و مقاومت مواد تشکیل‌دهنده سطح زمین را نشان می‌دهد. تراکم زهکشی از رابطه زیر به‌دست می‌آید(سلیمانی،۱۵:۱۳۷۸):

$$D=Li/A \quad (۲$$

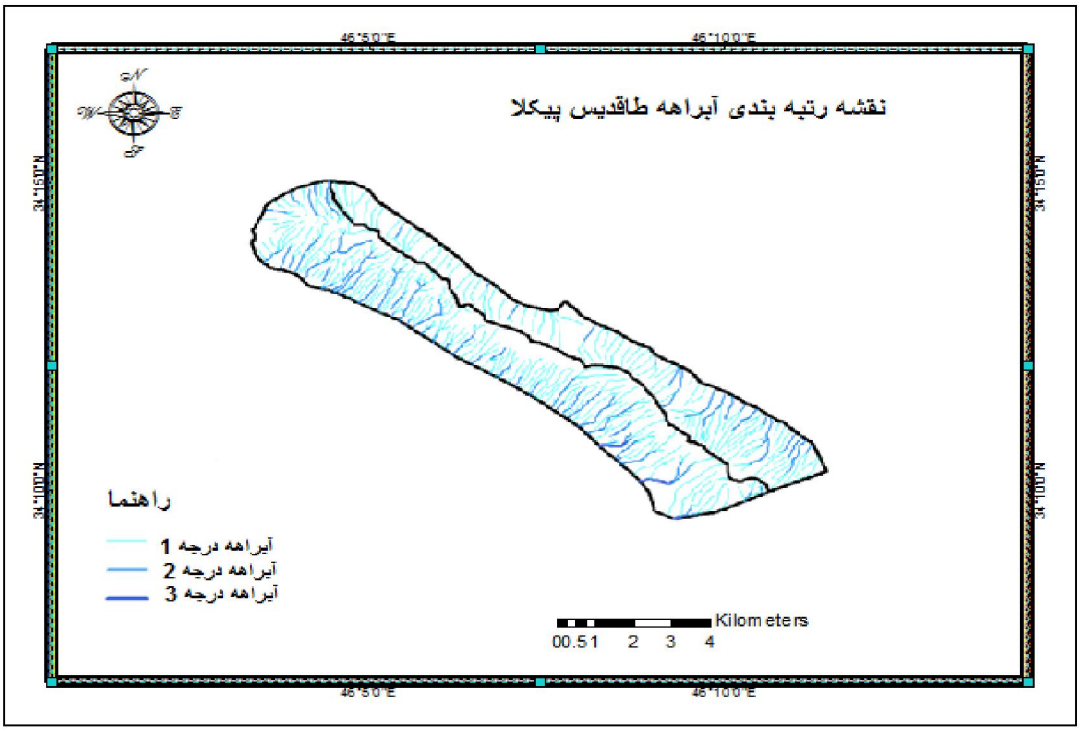
که در آن داریم:

D= تراکم زهکشی

Li= مجموع طول آبراهه

A= مساحت کل منطقه

تراکم زهکشی به طورمؤثری به سنگ شناسی، شیب توپوگرافی و شرایط آب و هوایی مربوط می‌شود. بررسی الگوی زهکشی در محدوده مورد مطالعه نشان‌دهنده آن است که، توانسته است به تبیین وضعیت فرسایش و تکامل ژئومورفولوژیک منطقه کمک کند. تراکم زهکشی برای کل طاقدیس و برای دو دامنه شمال‌شرق و جنوب‌غرب به تفکیک بر اساس شکل (۵) محاسبه شد و نتایج آن درجداول(۳ و۴) نمایش داده شده است.



شکل ۵) شبکه زهکشی طاقدیس پیکلا

جدول ۳) طول آبراهه‌های مختلف در طاقدیس پیکلا

درجه آبراهه‌ها	دامنه شمال‌شرق(km)	دامنه جنوب‌غرب(km)	کل حوضه(km)
درجه ۱	۷۱/۳۷	۱۴۸/۵۶۷	۲۱۹/۹۳۷
درجه ۲	۱۴/۷۷۵	۴۹/۳۸۷	۶۴/۱۶۲
درجه ۳	-	۲/۶۳۸	۲/۶۳۸
مجموع کل آبراهه‌ها	۸۶/۱۴۵	۲۰۰/۵۹۳	۲۸۶/۷۳۸

جدول ۴) طول آبراهه، مساحت و تراکم زهکشی در دامنه‌های طاقدیس پیکلا

نام حوضه	طول کل آبراهه(km)	مساحت (km2)	تراکم زهکشی (km)
دامنه شمال‌شرق	۸۶/۱۴۵	۲۵/۹۱۹	۳/۳۲
دامنه جنوب‌غرب	۲۰۰/۵۹۳	۴۱/۷۰	۴/۸۱
کل حوضه	۲۸۶/۷۳۸	۶۷/۶۲۵	۴/۲۴

در زهکشی یک حوضه، نسبت آبراهه درجه ۱ می‌تواند وضعیت زمین ساخت منطقه را از لحاظ فعال بودن مشخص کند که از تقسیم طول آبراهه درجه ۱ بر مساحت کل‌حوضه به دست می‌آید. نتایج به‌دست آمده در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵) تراکم زهکشی آبراهه درجه ۱

نام حوضه	طول کل آبراهه درجه ۱(km)	مساحت (km2)	تراکم زهکشی (km)
دامنه شمال‌شرق	۷۱/۳۷	۲۵/۹۱۹	۲/۷۵
دامنه جنوب‌غرب	۱۴۸/۵۶۷	۴۱/۷۰	۳/۵۶

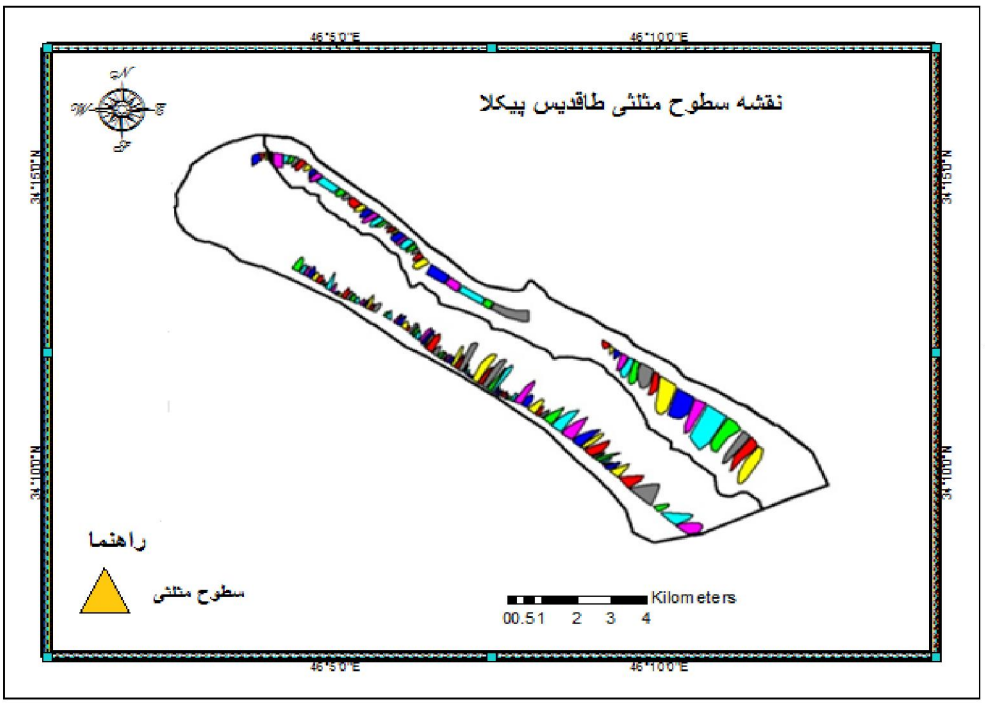
نتایج به‌دست آمده از جدول مذکور نشان‌دهنده آن است که تراکم کل آبراهه‌ها و آبراهه درجه یک در دامنه شمال شرقی بسیار کمتر از دامنه جنوب‌غربی است. دامنه شمال‌شرقی خیلی پرشیب‌تر از دامنه جنوب غربی است. به عبارتی دیگر، دامنه شمال‌شرقی به سرعت بالا آمده و امکان توسعه شبکه زهکشی را ایجاد نکرده است.

سطوح مثلثی شکل

سطوح مثلثی شکل شامل سطوح صاف تشکیل‌شده بین دو آبراهه در پهلوی طاقدیس هستند که در قسمت پایین دست (جبهه کوهستان)عریض و به سمت بالا دست کوچکتر می‌شوند(شکل ۶). سطوح مثلثی، دارای شکل مثلثی و در مواردی چند ضلعی هستند. به طورکلی، جبهه‌های کوهستانی با زمین ساخت شدیدتر، دارای سطوح مثلثی بزرگ‌تر و پرشیب‌تر و دارای قاعده طولانی‌تری هستند؛ در حالی که جبهه‌های کوهستانی با زمین ساخت ضعیف‌تر، به علت فرسایش بیشتر آبراهه‌ها، دارای سطوح مثلثی کمتر، کوچکتر، با قاعده‌های کوچکتر هستند(ولز و همکاران، ۱۹۸۸: ۲۳۹).

تشکیل سطوح مثلثی حاصل عملکرد فرایندهای درونی درمقابل فرایندهای بیرونی است. در این پژوهش، ابتدا محدوده سطوح مثلثی بر اساس تصاویر ماهواره‌ای کویک برد مشخص شد (شکل ۷). پس از رقومی‌سازی محدوده سطوح مثلثی در محیط نرم‌افزار الویس و انطباق آنها با مدل رقومی ارتفاع منطقه، مساحت و شیب و طول قاعده سطوح مثلثی اندازه‌گیری شد. طول قاعده، مساحت و شیب توپوگرافی سطوح مثلثی در دامنه شمال‌شرق، به ترتیب ۳/۲۶۶ متر،۶۵/۱۱ هکتار و ۵/۴۶ درصد است و طول قاعده، مساحت و شیب توپوگرافی سطوح مثلثی در دامنه‌جنوب غرب به ترتیب ۶/۱۶۶ متر، ۴۵/۵ هکتار و ۵۲/۳۷ درصد است. در دامنه شمال‌شرق میانگین شیب و قاعده بیشتر و میانگین مساحت و تعداد سطوح مثلثی کمتر است و در دامنه جنوب‌غرب میانگین شیب و طول قاعده کمتر و مساحت و تعداد سطوح مثلثی بیشتر است. این امرنشان‌دهنده تاثیر بیشتر عامل زمین ساخت در دامنه شمال‌شرق طاقدیس پیکلاست.

شکل ۶) سطوح مثلثی شکل در دامنه شمال‌شرقی طاقدیس پیکلا



شکل ۷) نقشه سطوح مثلثی شکل منطقه مورد مطالعه

فاصله‌بندی شبکه زهکشی

فاصله آبراهه‌ها از هم، یکی از شاخص‌هایی است که می‌تواند فعالیت‌های زمین ساخت یک منطقه را مشخص کند. رشته کوهستانی فعال زمین ساختی، دارای شبکه‌های زهکشی با فواصل منظمی هستند(هوویوس،۱۹۹۶ :۲۹-۴۴). بررسی فاصله بین خروجی شبکه‌های زهکشی و ارتباط آنها با نصف عرض کوهستان می‌تواند درجه فعالیت‌های زمین ساخت را مشخص نماید.

تالینگ و همکاران(۱۹۹۹ :۸۰۹-۸۲۴) شاخصی به نام نسبت فاصله(R) را که از تقسیم نصف پهنای کوهستان(W) بر فاصله بین دو آبراهه عمود بر رشته کوه(S) به‌دست می‌آید، ارائه کردند:

$$R = W/S \quad (۳$$

R= نسبت فاصله

S= فاصله بین دو آبراهه عمود بر رشته کوه

W = نصف پهنای کوهستان یا فاصله افقی بین بالاترین نقطه و خروجی حوضه

هرچه مقدار پارامتر R بیشتر باشد، نشان‌دهنده عرض بیشتر دامنه طاقدیس و فاصله کم بین خروجی دره‌ها و بنابراین فعالیت کم زمین ساخت است؛ در حالی که هر چه مقدار پارامتر R کمتر باشد، نشان‌دهنده شدت فعالیت‌های زمین ساخت است. در این پژوهش، پارامتر R برای ۵۱ آبراهه در دامنه جنوب‌غربی و ۲۸ آبراهه در دامنه شمال‌شرقی محاسبه شد و میانگین R در دامنه شمال‌شرق و جنوب‌غرب طاقدیس به‌دست آمد. میانگین مقدارR در دامنه شمال‌شرق ۶۷/۳ و

میانگین مقدارR در دامنه جنوب‌غرب ۸۷/۶ محاسبه شد. میانگین مقدار R در دامنه شمال‌شرق نسبت به دامنه جنوب-غرب کمتر است که نشان‌دهنده فعالیت زمین ساخت بیشتر در این دامنه است.

دره ساغری شکل

یکی از شاخص‌های تعیین مناطق فعال زمین ساختی، وجود دره‌هایی به شکل ساغر است. دره‌های ساغری شکل درجه فعالیت‌های زمین ساختی را در جبهه‌های کوهستانی فعال از نظر زمین ساختی نشان می‌دهند. دره‌های مذکور در قسمت بالا عریض هستند و به سمت پایین (جبهه کوهستان) که فعالیت‌های زمین ساختی بیشتر است، باریک می‌شوند(بور بانک و آندرسون، ۲۰۰۱: ۲۰۲). پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که وجود دره‌های ساغری شکل؛ اولاً بیانگر وجود حرکات زمین ساخت فعال در جبهه‌های کوهستانی است؛ ثانیاً تحت تاثیر درجه فعالیت‌های زمین ساختی، شکل و ابعاد آنها تغییر می‌کند(کاتالانو و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۸۳). بررسی این پژوهش نشان می‌دهد که دو دره ساغری تیپیک در دامنه شمال‌شرق طاقدیس تشکیل شده‌اند(شکل ۸). شاخص W (شاخص دره‌های ساغری شکل) از تقسیم حداکثر عرض دره ساغری شکل بر عرض دره ساغری شکل در نقطه خروجی به‌دست می‌آید(بهرامی، ۲۰۱۲ :۷۳):

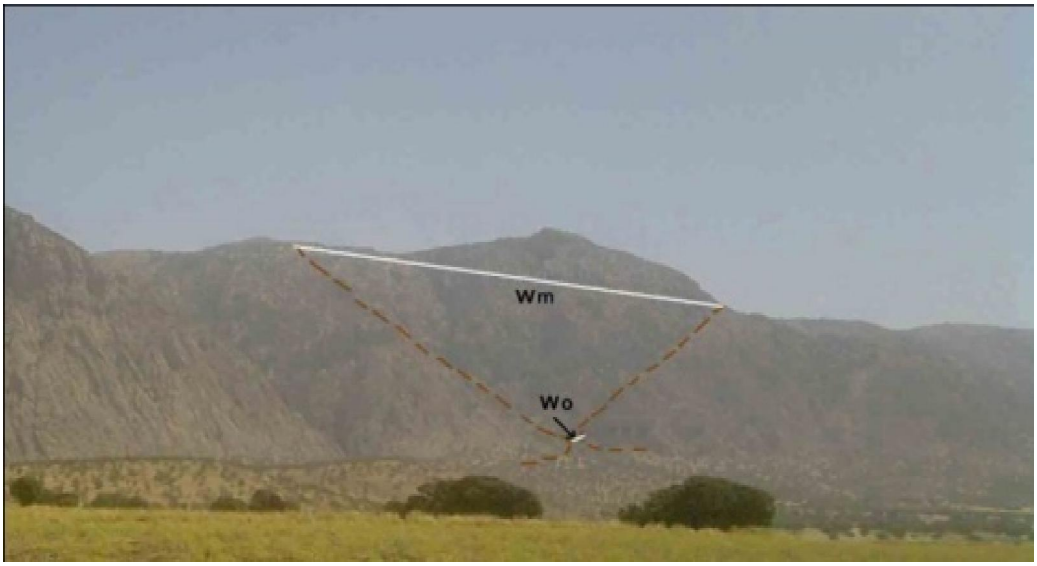
W=wm،wo (۴

که در آن W= شاخص دره‌های ساغری شکل،wm=حداکثر عرض دره ساغری شکل،wo= عرض دره ساغری شکل در نقطه خروجی آن است.

شاخص Wبرای دو دره مذکور محاسبه شد. همچنانکه جدول (۶) نشان می‌دهد، شاخص مذکور برای هر دو دره عدد بالایی را نشان می‌دهد که این موضوع بیانگر تاثیر زیاد زمین ساخت در این منطقه است.

جدول ۶) مشخصات دره‌های ساغری شکل در دامنه شمال‌شرق طاقدیس پیکلا

N	Wm(m)	Wo(m)	W(m)
۱	۷۷۹/۱۸	۲۹	۲۶/۸۶
۲	۱۶۵۱/۷۸	۵۲/۱۰	۳۱/۷۰



شکل ۸) دره ساغری شکل در دامنه شمال‌شرق طاقدیس پیکلا

وجود دره ساغری شکل در دامنه شمال‌شرق نشان‌دهنده این است که این منطقه از لحاظ زمین ساختی فعال‌تر است.

مئاندرهای رودخانه‌ای

از شواهد زمین ساخت‌های فعال در مناطق چین‌خورده، وجود رودخانه‌های سینوسی یا مئاندری است. حوالی منطقه مورد مطالعه از طاقدیس‌ها و ناودیس‌های متوالی تشکیل شده است. جریان آب برای رسیدن از یک ناودیس به ناودیس دیگر مجبور بوده‌است از یک طاقدیس بگذرد، که این امر سبب پیچ وخم‌هایی در مسیر رودخانه شده است(احمدی، ۱۳۷۴: ۳۳۳). همان‌گونه که شکل (۹) نشان می‌دهد، رودخانه دائمی سگان در شمال‌غرب طاقدیس پیکلا با عبور از انتهای فرود محوری طاقدیس، دره‌های عمیق و مئاندری را ایجاد نموده است. وجود دره عمیق در سنگ بستر با دیواره‌های عمودی و مسیر سینوسی آن، گویای بالاآمدگی زمین ساختی و رشد طاقدیس پیکلا به سمت شمال‌غرب است.

شکل ۹) مئاندر رودخانه سگان در شمال‌غرب طاقدیس پیکلا

نتیجه‌گیری

بررسی عوارض و شواهد زمین ریخت‌شناسی ساختمانی، از بهترین روش‌های ارزیابی حرکات زمین ساختی فعال هستند. در این پژوهش از هفت شاخص ژئومورفولوژیک برای طبقه‌بندی فعالیت زمین ساختی طاقدیس پیکلا استفاده شده و مقادیر به دست آمده برای هریک از این شاخص‌های زمین ساختی، زمینه مناسبی را برای طبقه‌بندی منطقه مطالعاتی از نظر نوع فعالیت زمین ساختی فراهم کرده است.

– در این پژوهش، منحنی هیپسومتریک و انتگرال هیپسومتریک حوضه‌های زهکشی تشکیل شده روی طاقدیس، بیانگر فعال بودن حوضه‌ها از نظر زمین ساختی است. با وجود این، فعالیت زمین ساختی در حوضه‌های دامنه شمال‌شرقی طاقدیس شدیدتر است.

– مقدار شاخص سینوسیته جبهه کوهستان در منطقه عدد بسیار پایینی است که نشان‌دهنده فعالیت بیشتر زمین ساخت است. با وجود این، دامنه شمال‌شرق از نظر زمین ساخت فعال‌تر است.

– تراکم زهکشی کل منطقه و آبراهه درجه ۱ در دامنه شمال‌شرق کمتر از دامنه جنوب‌غرب است. در توجیه این موضوع می‌توان گفت که دامنه شمال‌شرق پرشیب‌تر است و منطقه با سرعت زیادی بالا آمده و باعث شده رودخانه‌ها فرصت تکامل پیدا نکنند؛ در حالی که دامنه‌جنوب غرب احتمالاً به آرامی بالا آمده‌است و رودخانه‌ها فرصت تکامل پیدا کرده‌اند و تراکم زهکشی در این منطقه زیاد است.

– وجود سطوح مثلثی، حاکی از عدم زمان کافی برای فرسوده شدن کامل آنهاست. هرچقدر زمین ساخت در یک منطقه شدیدتر باشد، رودخانه فرصت کمتری را برای تکامل پیدا می‌کند و مانع از فرسایش کامل در منطقه می‌شود. در نتیجه، قاعده مثلث‌ها و شیب آنها بیشتر است. در طاقدیس پیکلا، در دامنه شمال‌شرق میانگین طول قاعده مثلث و شیب سطوح مثلثی بیشتر است که این موضوع بیانگر فعالتر بودن دامنه مذکور از نظر زمین ساخت است.

– نتایج نشان می‌دهد که مقدار شاخص R (نصف عرض کوهستان تقسیم بر فاصله بین خروجی دو شبکه زهکشی) در دامنه شمال‌شرق ۶۸/۳ و در دامنه جنوب‌غرب ۸۷/۶ است که این موضوع نشان می دهد دامنه شمال‌شرق از نظر زمین ساختی فعال‌تر است.

– دره‌های ساغری شکل به عنوان یکی از شواهد زمین ساخت‌های فعال، تنها در دامنه شمال‌شرق طاقدیس تشکیل شده‌اند که نشان‌دهنده فعالیت بیشتر زمین ساخت در این منطقه است.

– از دیگر شواهد زمین ساخت‌های فعال در مناطق چین‌خورده، وجود رودخانه‌های سینوسی یا مئاندری است. وجود مئاندر و مسیر سینوسی رودخانه سگان که از شمال‌غرب طاقدیس عبور می‌کند، نشان‌دهنده رشد طولی طاقدیس به سمت شمال‌غرب است. نتیجه شاخص‌های ذکر شده نشان می‌دهد که دامنه شمال‌شرق طاقدیس از لحاظ زمین ساخت فعال‌تر از دامنه جنوب‌غربی آن است.

به طور کلی، نتیجه پژوهش نشان می‌دهد که جبهه کوهستانی تقریباً مستقیم، سطوح مثلثی با قاعده طولانی و شیب زیاد، تراکم زهکشی پایین، الگوی زهکشی موازی، دره‌های ساغری شکل و مقدار بالای انتگرال هیپسومتریک در دامنه شمال‌شرق، بیانگر فعالیت زمین ساختی بیشتر این بخش از طاقدیس پیکلاست.

منابع

۱- احمدی، حسن .(۱۳۷۴). ژئومورفولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۴ ص.

۲- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور .(۱۳۸۳). نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰، شیت کرند غرب.

۳- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح .(۱۳۸۵). نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، شیت ۳-۵۲۵۸.

۴- سلیمانی، شهریار .(۱۳۷۸). *رهنودهایی در شناسایی حرکات زمین ساختی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌شناسی*، تهران: انتشارات مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

۵- علایی طالقانی، محمود. (۱۳۸۴). *ژئومورفولوژی ایران*، تهران: انتشارات قومس، چاپ سوم ، ۴۰۴ص.

۶- غلامی نیا، حکیمه .(۱۳۸۶-۱۳۸۵). *ژئومورفولوژی طاقدیس گچ(جنوب شهر لار) و نقش آن در تأمین منابع آب دشت لار*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی دانشکده علوم زمین،گروه جغرافیا.

۷- فقهی، خلیل‌اله .(۱۳۷۶). *بررسی ساختار طاقدیس لتیدان و ارزیابی پتانسیل اقتصادی چهارگوش منطقه مورد مطالعه*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی (زمین ساخت)، دانشگاه تربیت مدرس.

۸- نواب‌پور، پیمان .(۱۳۷۶). *پژوهش‌های طاقدیس بادامستان*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین ساخت، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

9- Ahmadi, R., Ouali, J., Mercier, E., Mansy, J.L .(2006). The geomorphologic responses to hinge migration in the fault-related folds in the Southern Tunisian Atlas، Journal of Structural Geology 28,pp: 721–728،

10- Armijo, R., Lyon-Caen, H، and Papanastassiou, D, 1991، A possible normal-fault rupture for the 464 B.C، Sparta earthquake، Nature, 351:pp:137-139،

11- Athanassios, G., Stefan, S., George, D., Nikolai, D., Sotiris,S., Christina, T., Georgi, F., Spyros, P., 2005، Active fault segmentation in southwest Bulgaria and Coulomb stress triggering of the 1904 earthquake sequence، Journal of Geodynamics 40 pp: 316-333.

12- Azor, A., Keller, E.A., Yeats, R.S.(2002). Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain–Oak Ridge anticline, Ventura basin, southern California، Geological Society of America bulletin 114(6),pp: 745–753.

13- Bahrami, S .(2012). Morphotectonic evolution of triangular facets and wine-glass valleys in the Noakoh anticline, Zagros, Iran: Implications for active tectonics، Geomorphology, 159,pp: 37-49.

14- Berberian, M .(1995). Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds:active basement tectonics and surface morphotectonics، Tectonophysics 241,pp: 193-224.

15- Blanc, E.J.P., Allen, M.B., Inger, S., Hassani, H.(2003). Structural styles in the Zagros Simple Folded Zone, Iran، Journal of the Geological Society, London 160,pp: 401-412.

16- 16)Burbank,D،W.,andAnderson,R،S.,2001،Tectonicgeomorphology, Blackwell Science, Oxford, 274 p.

17- Catalano, S., De Guidi, G., Monaco, C., Tortorici, L.(2008). Active faulting and seismicity along the Siculo–Calabrian Rift Zone (Southern Italy)،Tectonophysics453 ,pp:177–192،

18- Hovius, N، (1996), Regular spacing of drainage outlets from linear mountainbelts, Basin Reserch, 8, 29–44.

19- Hessami, K., Nilforoushan, F., Talbot, C.J.(2006). Active deformation within the Zagros Mountains deduced from GPS measurements، Journal of the Geological Society, London 163,pp:143-148.

20- Jackson, J., Van Dissen, R., Berryman, K.(1998). Tilting of activefolds and faults in the Manawatu region, New Zealand: evidencefrom surface drainage patterns، New Zealand Journal of Geologyand Geophysics 41,pp: 377–385،،

21- Osmundsen, P،T،, Redfield, T،F،, Hendriks, B،H،W،, Bergh, S،, Hansen, J،-a،, Henderson, I،H،C،, Dehاس.ال, J،, Lauknes, T،R،, Larsen, Y،, Anda, E،, Davidsen, B .(2010). Fault-controlled alpine topography in Norway، Journal of the Geological Society 167,pp: 83-98،
22- Petit, C،, Gunnell, Y،, Gonga-Saholiariliva, N،, Meyer, B،, Seguinot, J.(2009). Faceted spurs at normal fault scarps: Insights from numerical modeling، Journal of Geophysical Research 114, B05403, doi:10،1029،2008JB005955،
23- Piccardi, L،, Gaudemer, Y،, Tapponnier, P،, Boccaletti, M.(1999). Active oblique extension in the central Apennines(Italy): evidence from the Fucino basin، Geophys، J، Int،, 139,pp: 499–530،
24- Ramírez-Herrera,M،T،,1998،Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambaygraben, Mexican Volcanic Belt، Earth Surface Processes and Landforms 23,pp: 317-332
25- Sung, O،, Chen, Y،C.(2004). Geomorphic evidence and kinematicmodel for quaternary transfer faulting of the Pakuashan anticline,central Taiwan، Journal of Asian Earth Sciences 24,pp: 389–404.
26- Talling, P، J،, M، D،Stewart,C،P،Stark,S،Gupta,and S، J،Vincent .(1997).Regular spacing of drainage outlets from linear fault blocks, Basin Res,9,pp:275–302.
27- Talling, P and Sowter, M،J،, 1999، Drainage density on progressively tilted surfaces with different gradients, Wheeler Ridge, California،Earth Surface Processes and Landforms 24,pp: 809-824 (1999).
28- Welاس.ال, S، G،, Bullard, T، F،, Menges, C، M،, Drake, P، G،, Karas, P، A،, Keاس.الon, K، I،, Ritter, J، B، and Wesling, J، R،, 1988، Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica، Geomorphology 1, pp:239–265،
29- Zuchiewicz, W،A and McCaplin, J،P.(2000). Geometry of faceted spurs on an active normal fault: case study of the CentralWasatch Fault,Utah,U،S،A، Annaاس.ال Societatis Geologorum Poloniae 70,pp: 231-249.